



ISSN 2179-7374

Ano 2016 - V.20 – N^o. 02**DESIGN, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA: ANÁLISE DA GERAÇÃO DE CONTEÚDO
PDF 3D PARA FINS DIDÁTICOS*****DESIGN, EDUCATION AND TECHNOLOGY: ANALYSIS OF PDF 3D CONTENT
GENERATION FOR TEACHING PURPOSES*****Guilherme Resende Muniz¹****Elisa Guerra Ashton²****Fabio Pinto da Silva³****Wilson Kindlein Júnior⁴****Resumo**

Os avanços da informática e da tecnologia da informação nas últimas duas décadas trouxeram novas alternativas didáticas na área da educação. Entretanto, o ensino tradicional ainda não incorporou muitas das possibilidades para seu uso em sala de aula. Deste modo, o presente artigo tem como objetivo avaliar a possibilidade técnica de desenvolvimento de conteúdo PDF 3D como ferramenta educacional. Para exemplo prático de aplicação, digitalizou-se em 3D uma medalha de bronze com valor histórico/pedagógico e converteu-se para o formato PDF 3D com sete configurações de qualidade. Através da análise de resolução, precisão, tamanho do arquivo gerado e compatibilidade, foi possível traçar um quadro geral sobre a viabilidade técnica do desenvolvimento de gráficos 3D para fins educacionais. Os resultados obtidos demonstraram que é possível manter uma qualidade satisfatória para propósitos educacionais com grande redução do tamanho do arquivo. Em relação à fidelidade, os testes indicaram que é possível a preservação de detalhes tanto da forma quanto do relevo (textura). Por fim, foi possível verificar que a compatibilidade (PC, OS X, IOS e Android) apresenta ainda alguns desafios. Concluiu-se, então, que o formato PDF 3D tem um grande potencial a ser explorado na área da educação, entretanto, ainda há obstáculos à criação do conteúdo 3D e na compatibilidade com alguns sistemas operacionais.

Palavras-chave: Tecnologias 3D; Educação & Design; Design & Tecnologia; PDF 3D.

¹Doutorando em Design, Programa de Pós-Graduação em Design - UFRGS, guiresende20@gmail.com

²Doutoranda em Design, Programa de Pós-Graduação em Design - UFRGS, elisaashton@hotmail.com

³Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Design - UFRGS, fabio.silva@ufrgs.br

⁴Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Design - UFRGS, wilsonkindleinjuniior@gmail.com

Abstract

Advances in computer Science and information technology over the last two decades have brought new pedagogical alternatives in education. However, the traditional educational system has not yet incorporated many of the possibilities for its practical use. Thus, this article aims to evaluate the technical feasibility of developing 3D PDF content as an educational tool. As an example of practical application, a bronze medal with historical/educational value was 3D scanned and the data was converted to 3D PDF in seven different quality settings. Through analysis of resolution, accuracy, size of the generated file and compatibility, it was possible to outline a general framework about the technical feasibility of 3D graphics development for educational purposes. Results show that it is possible to maintain a satisfactory quality for educational purposes with a great reduction in file size. Regarding the fidelity, tests showed that it is possible to preserve as much detail as the surface texture. Finally, it was possible to identify that the compatibility (PC, OS X, IOS and Android) presented some challenges. It was concluded that 3D PDF has a great potential to be explored in the educational area, however, there are still obstacles to the creation of 3D content and the compatibility with some operating systems

Keywords: 3D Technology; Design & Education; Design & Technology, 3D PDF.

1. Introdução

A educação vem passando por mudanças profundas em decorrência dos avanços tecnológicos, o ensino tradicional, por sua vez, deve acompanhar as possibilidades decorrentes de tais mudanças (Van denBeemt; Akkerman; Simons, 2011; Blackwellet al., 2013). As plataformas de comunicação, a interatividade e a rapidez das informações disponíveis através das novas tecnologias possibilitam ao aluno novas formas eficientes de adquirir conhecimento e desenvolver habilidades (Lai; Wang; Lei, 2012; Kori, Pedaste, Leijen; Mãeost, 2014). Nesse contexto, percebe-se a necessidade de uma mudança no âmbito educacional. Para que esta mudança ocorra, é fundamental estimular o aprendizado por outros meios que envolvam a interatividade, ludicidade e uma didática adaptada às novas tecnologias (Beetham; Sharpe, 2013; Portugal; Souza Couto, 2011).

Estudos recentes demonstram que a utilização de tecnologia e interatividade em sala de aula pode auxiliar no estímulo de competências fundamentais dos alunos como: a iniciativa, o trabalho em equipe e a criatividade (Means, 2010; Esteve Mon; Cervera, 2013). Algumas das possibilidades que as tecnologias 3D proporcionam, como a representação de formas complexas e de modelos abstratos, somados a interatividade e a ludicidade, são alguns dos motivos pelos quais elas vêm sendo adotadas neste campo. Entretanto, a curva de aprendizado dos softwares que manipulam objetos em 3D é relativamente alta (exige um esforço considerável). Na mesma linha de pensamento, a pesquisa de Schmid et al. (2014) concluiu que o aprendizado é mais consistente quando os alunos estão envolvidos em exercícios interativos através de ferramentas tecnológicas, no sentido de que a tecnologia ocupa um espaço importante na evolução e melhora da pedagogia. Entretanto, o autor destaca que ainda estamos longe de compreender como desenvolver ferramentas cognitivas efetivas e de que forma elas podem ser integradas efetivamente ao ensino.

Ao tratar de objetos digitais 3D, um importante fator a ser considerado é a grande gama de formatos de arquivos possíveis de serem gerados (Cicirello; Regli,

2013). Existe uma preocupação em relação à compatibilidade de formato, de acordo com publicação da *National Information Standards Organization* (NISO), um bom objeto digital existe em um formato que suporte o uso atual e futuro, ou seja, pode ser transferido entre plataformas, é amplamente acessível e formatado de acordo com um padrão conhecido (NISO, 2007). Nesse sentido, o *3D Portable Document Format* (PDF 3D) pode ser percebido como uma ferramenta capaz de suprir tal demanda. Isso se deve ao fato de que esse formato de arquivo apresenta possibilidade de movimento, facilitando a visualização e compreensão de formas complexas e interdependentes, além da facilidade de uso e grande base de usuários (Ruthensteiner; Heß, 2008).

Atualmente, as possibilidades de aplicação do PDF 3D como ferramenta interativa e didática já começam a ser exploradas em diversas áreas, entre elas a biologia (Kumar; Ziegler; Grahn; Hee; Ziegler, 2010; Ruthensteiner; Heß, 2008), a medicina (Boer et al. 2011; Phelps; Naeger; Marcovici, 2012), a biomedicina (Ruthensteiner; Baeumler; Barnes, 2010), a astronomia (Barnes; Fluke, 2008), e a química (Selvam; Vasilyev; Wang, 2009; Vasilyev, 2010). Especificamente na área da educação, o PDF 3D foi utilizado como ferramenta didática no estudo de Martín-Gutiérrez; García-Domínguez; Sanjuán-Hernan Pérez; Mato-Carroudegua (2013). O resultado da pesquisa demonstrou que a utilização de tecnologias 3D, melhorou o aprendizado de estudantes de engenharia, que precisam desenvolver habilidades como visão espacial e tridimensional de representações bidimensionais.

Este estudo se justifica por tratar de tema atual e relevante, pois existe a necessidade de atualização dos métodos de ensino através do uso de tecnologia e interatividade. Neste sentido, o presente estudo contribui para a geração de conhecimento técnico na área de tecnologias 3D analisando a viabilidade de aplicação do PDF 3D no campo do ensino. Considerados o contexto do aprendizado frente às novas tecnologias e a potencialidade do PDF 3D como ferramenta didática, cabe destacar a questão técnica envolvida no processo de obtenção do PDF 3D a partir de arquivos 3D (OBJ, STL e PLY). Em versões anteriores do software Adobe Acrobat a incorporação de um arquivo STL para a geração do arquivo PDF 3D era feita de forma automática. Entretanto, a partir da versão 11, o sistema de geração de conteúdo 3D foi alterado. Nas novas versões, o processo não é mais automático e depende de um software adicional para a conversão do arquivo e posterior incorporação do arquivo ao PDF 3D.

Nesse contexto, esta pesquisa busca comparar e demonstrar o comportamento dos processos de geração de arquivos PDF 3D para fins didáticos. A abordagem do trabalho segue um caráter técnico, destacando-se aspectos relacionados à geração de arquivos em diferentes configurações e programas. Os dados 3D foram gerados a partir da digitalização tridimensional cujas etapas envolvem o processamento da nuvem de pontos, a geração de malha, e posterior análise do tamanho, precisão, resolução e compatibilidade dos arquivos PDF 3D gerados.

2. Formatos de Arquivos 3D

Cabe aqui introduzir breves considerações referentes aos formatos utilizados na parte experimental desse estudo. Os três principais formatos de arquivos gerados através da digitalização 3D são o STL, OBJ e PLY. O STL (*Stereolithography*) é considerado o formato padrão da indústria da prototipagem rápida, a compatibilidade entre diversos sistemas e plataformas é uma das características deste tipo de arquivo (Chua; Leong; Lim, 2010). O

segundo formato citado, o OBJ (*Wavefront object*) é considerado um bom formato para representação de superfícies e texturas, composto por triângulos e polígonos de grau mais elevado (Patnaik; Yang, 2012). O PLY (*Polygon file format*) é um formato que foi desenvolvido pela universidade de Stanford, e descreve apenas um objeto como um grupo de elementos (Koschan; Pollefeys; Abidi, 2007). A partir da versão 11 do Adobe Acrobat, estes formatos precisam ser convertidos antes de serem incorporados em um PDF 3D.

Os principais formatos de conversão dos arquivos para o PDF 3D, são o U3D e o PRC. O U3D (*Universal 3D*) foi desenvolvido para permitir representação e intercâmbio de modelos CAD (*Computer Aided Design*). Atualmente, esse formato já começa a ser substituído pelo PRC (*Product Representation Compact*), um formato binário sequencial que permite diferentes níveis de compactação. A Adobe® (2008) descreve que esse formato é utilizado para armazenar, carregar e exibir diversos tipos de dados 3D, especialmente daqueles provenientes do CAD.

3. Materiais e Métodos

Este estudo contou com o apoio do museu Joaquim José Felizardo, situado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. O museu disponibilizou peças de seu acervo para a digitalização 3D. O objeto escolhido para dar seguimento aos testes de escaneamento 3D apresentados neste trabalho foi uma medalha de bronze (figura 1) com 70 mm de diâmetro e 6,6 mm de espessura.

Figura 1: Medalha estudada, frente e verso



Fonte: Elaborado pelos Autores

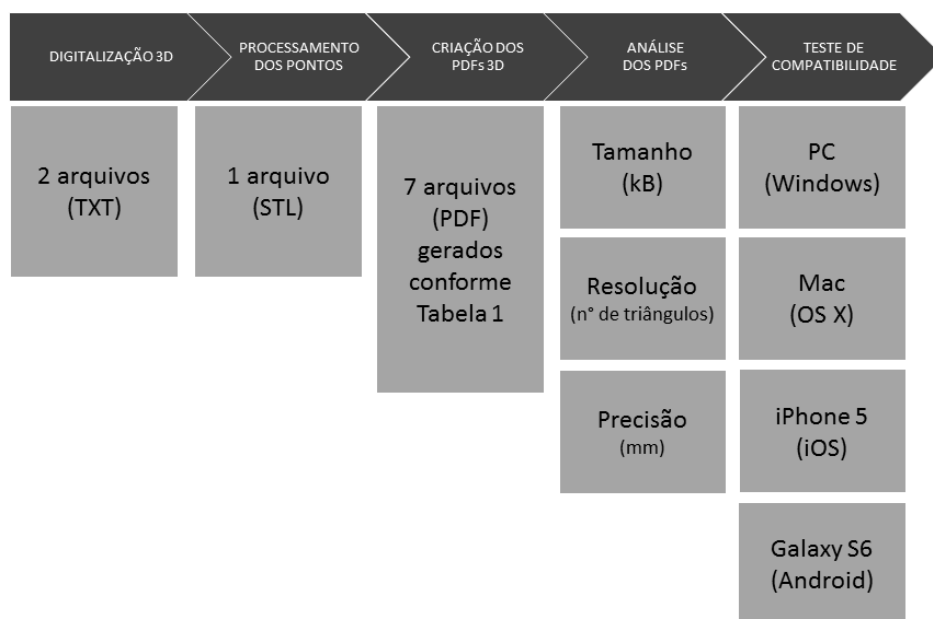
A peça em questão foi produzida em 1933 para a comemoração dos 100 anos da Revolução Farroupilha, fato que marcou a história do estado do Rio Grande do Sul e do Brasil. Dessa forma, a escolha da medalha como objeto a ser utilizado na pesquisa é justificada pelo valor histórico/cultural que possui. Além disso, a Revolução Farroupilha é um conteúdo obrigatório na grade curricular do ensino médio no estado do Rio Grande do Sul, representando alto valor educacional para criação de material didático.

A primeira etapa realizada foi a digitalização 3D da medalha (frente e verso). Após, foi feito o processamento dos pontos adquiridos em cada escaneamento em um

único arquivo no formato de malha STL. Esse arquivo final foi utilizado para a geração de 7 arquivos PDF 3D, em diferentes configurações de qualidade e formatos de conversão.

O passo seguinte consistiu na análise de cada um dos arquivos gerados em relação ao tamanho, espaço, precisão e resolução. Por fim, foi feito um teste de compatibilidade dos PDFs 3D em diferentes equipamentos e programas. A figura 2 representa as etapas e os processos realizados.

Figura 2: Etapas e processos utilizados



Fonte: Elaborado pelos autores

Para o escaneamento da medalha foi utilizado o scanner a laser, Digimill 3D, a resolução empregada foi de 0,05mm e a precisão da lente utilizada foi de 0,006mm. A partir da digitalização, foram obtidos dois arquivos de nuvens de pontos em formato de texto (TXT). Nestes arquivos estão contidas as coordenadas X, Y e Z dos pontos digitalizados. A etapa seguinte consistiu no processamento das nuvens de pontos para a transformação das mesmas em uma malha triangular, salva em um único arquivo de formato STL. A filtragem dos pontos, a criação da malha triangular e a junção da frente e do verso da medalha foram realizadas utilizando o software Geomagic Studio.

O arquivo STL serviu de base para a criação dos 7 arquivos PDF 3D, conforme descrito na tabela 1. Para a criação dos arquivos 1 a 3, foi utilizado o software Acrobat 9, nessa versão era possível realizar a conversão diretamente no software. Assim, os arquivos 1 e 2 foram convertidos utilizando a opção de formato PRC, com as configurações de padrão de conversão “Large” e “Small”, respectivamente. O arquivo 3 foi convertido com a opção de formato U3D, o que permitiu uma configuração personalizada, chamada de “Custom”. Essa configuração é o equivalente ao meio termo entre as duas outras configurações utilizadas.

A partir do Acrobat XI Pro, não é mais possível fazer a conversão do arquivo STL diretamente, sendo necessário o uso de um software intermediário. Os softwares

utilizados foram o Meshlab (no qual a conversão é feita no formato U3D) e o Geomagic (no qual a conversão é feita no formato PRC). Assim sendo, os arquivos 4 a 7, foram gerados a partir do Acrobat XI Pro, sendo que os arquivos 4 a 6 foram convertidos com a utilização conjunta do software MeshLab (pelo formato U3D) e o arquivo 7 com o Geomagic (pelo formato PRC). Em relação à configuração de conversão, os três arquivos gerados através do Meshlab (4, 5 e 6) tiveram sua configuração de conversão estabelecida em 0 (mínimo), 500 (médio) e 1000 (máximo) de qualidade, respectivamente. Já a utilização do software Geomagic não permite ajuste nas configurações de conversão, assim sendo, o arquivo 7 foi convertido de acordo com o padrão do software.

Tabela 1: Detalhamento da criação dos arquivos PDF 3D

Arquivo	Softwares	Formato de conversão	Configuração de conversão
1	Acrobat 9 pro	PRC	Large
2	Acrobat 9 pro	PRC	Small
3	Acrobat 9 pro	U3D	Custom
4	Acrobat XI pro + Meshlab	U3D	0
5	Acrobat XI pro + Meshlab	U3D	500
6	Acrobat XI pro + Meshlab	U3D	1000
7	Acrobat Pro XI pro + Geomagic	PRC	Padrão do software

Fonte: Elaborado pelos autores

Para análise dos PDFs, a malha contida em cada arquivo foi extraída e salva no formato padrão STL. A primeira análise realizada foi quanto ao tamanho dos arquivos PDFs 3D gerados e a proporção do PDF em relação ao arquivo STL extraído de cada arquivo. A resolução foi avaliada a partir do número de triângulos de cada arquivo. A última análise, referente à precisão dos arquivos foi realizada através da sobreposição do respectivo STL (extraído de cada PDF 3D) com a malha original STL obtida pela digitalização 3D. Para isto, utilizou-se o software Geomagic Qualify, que gerou gráficos e valores do erro médio de precisão.

Por fim, realizou-se um teste de compatibilidade dos PDFs 3D em diferentes equipamentos e programas. Os equipamentos nos quais os arquivos foram testados são os seguintes: um PC com os programas Acrobat Reader e Foxit Reader; um MAC com o Acrobat Reader; Dois smartphones (Iphone 5S e Samsung Galaxy S6), ambos utilizando o aplicativo (gratuito) 3D PDF Reader versão 2.0.

4. Resultados e Discussão

A partir da digitalização da medalha e da união dos dois arquivos (frente e verso) foi gerado o arquivo “STL original”, cujo tamanho foi 72,8 MB em uma malha poligonal com 1.526.462 triângulos (figura 3). Esse arquivo foi utilizado para a geração dos 7 arquivos PDF 3D com as configurações já descritas na tabela 1. Os resultados das análises realizadas de tamanho e resolução (número de triângulos) e precisão são apresentados na tabela 2.

Figura 3: Modelo 3D em formato STL, frente e verso



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2: Análises dos arquivos gerados

Arquivo	PDF X STL ORIGINAL		STL EXTRAÍDO X PDF		STL EXTRAÍDO X STL ORIGINAL		
	Tamanho do arquivo PDF (kB)	Proporção do PDF em relação ao STL original	Tamanho do arquivo STL extraído (kB)	Proporção do PDF em relação ao STL extraído	Número de triângulos do STL extraído	Proporção do STL extraído em relação ao STL original	Erro médio de Precisão (mm)
1	43.294	58%	74.535	58%	1.526.462	100%	0,000
2	15.317	21%	74.479	21%	1.525.310	99,9%	0,003
3	11.785	16%	44.721	26%	915.876	60%	0,001
4	4.211	6%	3.407	124%	69.761	4,6%	0,569
5	5.239	7%	74.517	7%	1.526.102	99,9%	0,003
6	8.301	11%	74.535	11%	1.526.462	100%	0,000
7	29.077	39%	12.208	238%	250.000	16,4%	0,003

Fonte: Elaborado pelos autores

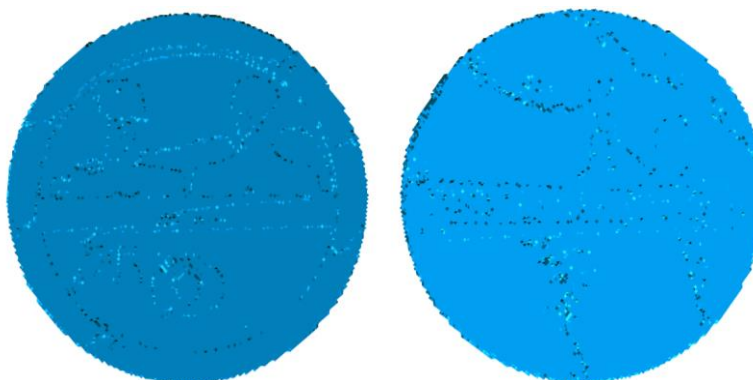
Através dos testes realizados, constatou-se que, dependendo da configuração

utilizada, o PDF 3D pode apresentar uma grande redução do tamanho do arquivo em relação ao formato original STL, com poucas perdas na resolução e com alta precisão. O arquivo 5, por exemplo, apresentou número de triângulos praticamente igual ao do arquivo da digitalização 3D (99,9%), alto nível de precisão (0,003 mm) e ficou com apenas 7% do tamanho do arquivo STL original. Este nível de compactação é importante dentro do contexto do acesso a dispositivos móveis, nos quais a quantidade e a velocidade de transferência dos dados são limitadas. A seguir, os resultados são discutidos levando em consideração a geração automática do PDF (arquivos de 1 a 3) e a geração com uso de software intermediário (arquivos de 4 a 7).

Em relação aos arquivos gerados no software Meshlab e incorporados no Acrobat XI Pro, percebe-se que o melhor resultado foi observado no arquivo 5, demonstrando uma boa redução de tamanho e mantendo praticamente o mesmo número de triângulos do arquivo original. O arquivo 6 também apresentou resultado satisfatório, mantendo o número de triângulos, porém, com um tamanho maior que o arquivo 5 (devido à configuração de conversão). O arquivo 4 apresentou o pior resultado. Apesar de uma considerável redução do tamanho, o número de triângulos não foi preservado, o que resulta em um arquivo de baixa resolução. Isso é confirmado pelo erro médio de precisão que ficou muito acima do erro medido nos demais arquivos. Por fim, o arquivo 7 (gerado no software Geomagic) apresentou redução da resolução (16,4% do número de triângulos) sem perda considerável de precisão (0,003 mm), porém, o PDF ficou 238% maior que o STL extraído dele. Isso pode ser atribuído ao fato de o Geomagic gerar automaticamente uma textura azul característica do software, a qual demanda um importante espaço adicional no arquivo.

A análise de precisão demonstrou que o erro médio apresentado pelos arquivos é praticamente insignificante, já que quase todos permaneceram abaixo de 0,003 mm, com exceção do arquivo 4 que apresentou erro maior do que 0,5mm. Este arquivo, conforme a figura 4 demonstra, perdeu todos os detalhes a ponto de ficar praticamente irreconhecível.

Figura 4: Modelo 3D referente ao arquivo 4, frente e verso.



Fonte: Elaborado pelos autores

Cabe destacar que o erro deve ser relativizado com a geometria do modelo 3D. Assim, os valores de erro são pequenos em relação ao diâmetro e espessura da moeda (respectivamente 70 e 6,6 mm), mas, no modelo original, há detalhes em relevo na ordem de apenas 0,1 mm. A figura 5 apresenta a análise de precisão realizada. É

apresentado somente o modelo 5, que foi considerado o melhor resultado (em termos de compactação e precisão), pois os demais modelos ficaram visualmente indistinguíveis deste. Como se pode observar, praticamente todas as áreas do modelo apresentam a precisão melhor do que 0,005mm (cor verde na escala da figura).

Figura 5: Análise gráfica de precisão do arquivo 5, escala em mm.



Fonte: Elaborado pelos autores

A desvantagem que cabe destacar é o processo para a criação do conteúdo 3D através da digitalização a laser de precisão. A filtragem de pontos, criação da malha triangular e a junção das duas faces, demandam tempo, equipamento e conhecimentos específicos tanto de hardware como de software, o que vai ao encontro dos resultados observados por Galantucci, L. M.; Peroco, G. & Dal Maso, U (2008). Tal fato pode ser considerado um impedimento para a utilização em âmbito escolar. Sendo assim, percebe-se a necessidade de tornar o processo mais dinâmico, acessível e didático no que tange a criação de conteúdo 3D. Neste contexto, cabe ainda salientar que novos processos de digitalização 3D, bem como softwares livres, encontram-se em constante evolução, já havendo soluções mais acessíveis para um público não especializado. Exemplo disto, é o processo de fotogrametria utilizado em conjunto com o software 123D Catch, no qual o usuário pode gerar um modelo 3D a partir da câmera de um celular. Em contrapartida, uma vez que seja gerado o conteúdo 3D, o processo de incorporação no PDF dá-se de forma rápida. Cabe destacar que, previamente, devem ser tomados os devidos cuidados com relação ao tamanho do arquivo e à preservação da representação dos detalhes da forma e da superfície do objeto (fidelidade da imagem).

Apesar de o PDF 3D ser gratuito para reprodução de conteúdo, os softwares utilizados para a geração desse conteúdo ainda podem ser onerosos. O formato PRC é mais recente e é adotado como padrão pela Adobe, porém, ele é mais dependente de softwares proprietários. Por outro lado, o formato U3D, pode ser gerado por meio de softwares livres como o Meshlab (caso dos arquivos 4, 5 e 6). Ainda, é possível configurar um padrão de qualidade para este formato, controlando a relação entre o nível de detalhes e o tamanho do arquivo. Inclusive, alguns periódicos científicos da editora Elsevier já aceitam a inclusão de conteúdo 3D neste formato (Elsevier, 2016).

No que diz respeito à compatibilidade, os PDFs 3D abriram em todos os programas e plataformas analisados, tanto nos sistemas desktop, como nos dispositivos móveis. Em sistemas desktop a interação com o modelo 3D só foi possível com o

programa Acrobat Reader, pois outros leitores de PDF exibem apenas o documento com uma imagem estática. Nos dispositivos móveis testados (Iphone 5S e Samsung Galaxy S6) o aplicativo 3D PDF Reader exibiu corretamente os modelos 3D. Entretanto, em dispositivos móveis, outras mídias, como texto e fotos que possam estar associadas ao conteúdo 3D, não foram exibidas pelo aplicativo.

Por fim, cabe destacar que uma das barreiras a ser vencida para a popularidade da veiculação de modelos 3D ainda é o tamanho dos arquivos gerados, o que foi o principal objeto de estudo deste trabalho. A redução do tamanho do arquivo PDF 3D em relação a outros formatos 3D torna-se interessante, por exemplo, para envio por e-mail e visualização online ou em dispositivos móveis. Destaca-se ainda que esse formato 3D possibilita realizar análises, medições do objeto, visualizar seções transversais, criar vistas personalizadas e adicionar comentários ao modelo tridimensional, contribuindo para uma maior imersão do aluno. Tais características, aliadas ao fato do PDF ser um formato já amplamente utilizado, contribuem para disseminação deste tipo de conteúdo.

5. Considerações Finais

A presente pesquisa comparou e demonstrou algumas das possibilidades que os processos de geração de arquivos PDF 3D oferecem, visando sua aplicação para fins didáticos. De maneira geral, os resultados demonstraram que é possível manter uma qualidade de modelo satisfatória com grande redução do tamanho do arquivo. Em relação à fidelidade, os testes indicaram que é possível manter grande nível de preservação de detalhes. A compatibilidade, entretanto, não foi totalmente satisfatória. Em ambiente desktop, os PDFs abriram em todos os programas analisados, mas só foi possível manusear o arquivo em 3D no leitor da própria Acrobat. Em ambiente mobile, o conteúdo 3D gerado no presente estudo foi exibido corretamente, mas em separado de outros conteúdos como textos e imagens.

Concluiu-se que o PDF 3D tem um grande potencial a ser explorado na área da educação e difusão de conhecimentos, entretanto, ainda há obstáculos em relação à criação do conteúdo 3D e algumas barreiras técnicas relacionadas à compatibilidade. Dessa forma, vencidas essas barreiras técnicas identificadas no presente estudo, acredita-se que a criação de modelos PDF 3D possui potencial para fins didáticos, já que apresenta diversos recursos úteis para o uso em sala de aula como a incorporação de outros tipos de mídia como vídeos e sons e texto. Tais recursos podem ser aplicados simultaneamente, possibilitando uma abordagem de didática oferecendo um maior nível de imersão, interatividade e ludicidade no conteúdo. Cabe salientar também que a inclusão de conteúdo 3D (possibilidade de visualização da imagem/objeto com movimento de rotação e translação) em textos de publicações *online* facilitará a compreensão de muitos estudos científicos e tecnológicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Museu Joaquim José Felizardo (RS), do CNPq e da CAPES - processo BEX 5786/15-0.

Referências

- ADOBE® © Copyright 1996 - 2008 Adobe Systems Incorporated. Disponível em: http://help.adobe.com/livedocs/acrobat_sdk/9/Acrobat9_HTMLHelp/API_References/PRCReference/PRC_Format_Specification/, acessado em 10/12/2015.
- ARRIBAS, Victor; CASAS, Luís; ESTOP, Eugènia; LABRADOR, Manuel. Interactive PDF files with embedded 3D design as support material to study the 32 crystallographic point groups. **Computers & Geosciences**.n 62. p. 53–62, 2014.
- BARNES, David G.; FLUKE, Christopher J. Incorporating interactive 3-dimensional graphics in astronomy research papers. **New Astronomy**, 13 p. 599 – 605, 2008.
- BEETHAM, Helen ; SHARPE, Rhona. **Rethinking Pedagogy for a Digital Age: Designing for 21st century learning**. New York, Routledge, second edition, 2013.
- BLACKWELL, Courtney K.; LAURICELLA, Alexis R. ; WARTELLA, Ellen; ROBB, Michael & SCHOMBURG, Roberta . Adoption and use of technology in early education: The interplay of extrinsic barriers and teacher attitudes. **Computers and Education**, v.69 p. 310 – 319, 2013.
- BOER, de Bouke A. ; SOUFAN, Alexandre T. ; HAGOORT. Jaco, Timothy J.; MOHUN. Maurice J. B. van den Hoff; HASMAN Arie; VOORBRAAK Frans P. J. M; MOORMAN Antoon F. M., RUIJTER Jan M. The interactive presentation of 3D information obtained from reconstructed datasets and 3D placement of single histological sections with the 3D portable document format. **Development**. V. 138, p. 159-167, 2011.
- CHUA Chee Kai; LEONG Kah Fai; LIM Chu Sing. **Rapid Prototyping**. Third edition Singapore: World Scientific, 2010. P. 512.
- CICIRELLO Vincent A.; REGLI, William, C.A flexible and extensible approach to automated CAD/CAM format classification. **Computers & Graphics**, v. 37, Issue 3, p. 484-495, 2013.
- ELSEVIER. 2016. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books-and-journals/content-innovation/interactive-u3d-models#about>. Acessado em: 10/12/2015
- GALANTUCCI, L. M.; PEROCO, G.; DAL MASO, U. A volumetric approach for STL generation from 3D scanned products. **Journal of Material Processing Technology**. n. 204 p. 403-411, 2008.
- GUTIÉRREZ, Martín J. ; DOMÍNGUEZ, García, M.; Pérez SANJUÁN, Hernan, A. ; CARROUDEGUAS, Mato C. Comparative Analysis Between Training Tools in Spatial Skills for Engineering Graphic Students Based in Virtual Reality, Augmented Reality and PDF 3D Technologies. 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education. **Procedia Computer Science** 25 p.360 – 363, 2013.
- KOSCHAN, Andreas; POLLEFEYS, Marc; ABIDI, Mongi. 3D Imaging for Safety and Security. **Computational Imaging**, v. 35, 2007.
- KORI, Külli; PEDASTE, Margus; LEIJEN, Äli; MÄEOST, Mario. Supporting reflection in technology-enhanced learning. **Educational Research Review**, v. 11 p. 45-55, 2014.
- KUMAR, Pravin; ZIEGLER, Alexander; GRAHN, Alexander; HEE, Chee Seng; ZIEGLER, Andreas. Leaving the structural ivory tower, assisted by interactive 3D PDF. **Trends in Biochemical Sciences**.n 35 p. 419 – 422, 2010.

LAI, Chun; WANG, Qiu; LEI, Jing, What factors predict undergraduate students' use of technology for learning: A case from Hong Kong. **Computers & Education**. V. 59, Issue 2, p. 569-579, 2012.

MEANS, Barbara. Technology and Education Change: Focus on Student Learning. **JRTE**, vol 42, No 3, pp 285-307, 2010.

MON Esteve; MARC Francesc; GISBERT Cervera, Mercè. Explorando el Potencial Educativo de los Entornos Virtuales 3D. **Teoría de la Educación: Educación y Cultura em la Sociedad de la Información**, v. 14, n. 3, pp. 302-319, 2013.

NISO - National Information Standards Organization. **A Framework of Guidance for Building Good Digital Collections**. Baltimore, 3rd edition: NISO, 2007

PATNAIK, Srikanta ; YANG, Yeon-Mo. **Soft Computing Techniques in Vision Science. Studies in Computational Intelligence**, 395, ISBN 978-3-642-25506-9, 2012. 222 p.

PHELPS, Andrew; Naeger, DAVID M.; MARCOVICI, Peter. Embedding 3D Radiology Models in Portable Document Format. **Medical Physics and Informatics – Technica Innovation**. DOI:10.2214/AJR.12.8716, 2012.

PORTUGAL, Cristina ; SOUZA, Couto, Rita Maria de. Reflexões sobre Design, Cultura Visual e Educação na Pós Modernidade. **Actas de Diseño y Comunicación**, ISSN 1850-2032, pp. 140-145, 2011.

RUTHENSTEINER, Bernhard; HESS, Martin. Embedding 3D Models of Biological Specimens in PDF Publications. **Microscopy Research and Technique**, 71 p. 778 – 786, 2008.

RUTHENSTEINER, Bernhard; BAEUMLER, Natalie; BARNES, David G. Interactive 3D volume rendering in biomedical publications. **Micron**, v. 41, issue 7, p. 886e1- 886e17, 2010.

SCHIMID, Richard F.; BERNARD, Robert M.; BOROKHOVSKI, Eugene; TAMIM, Rana M.; ABRAMI, Philip; SURKES, Michael A. The effects of Technology use in postsecondary education: A meta-analysis of classroom applications. **Computers & Education**, 72 p. 271-291, 2014.

SELVAM, Lalitha; VASILYEV, Vladislav ; WANG, Feng. Methylation of Zebularine: A Quantum Mechanical Study Incorporating Interactive 3D pdf Graphs. **The Journal of Physical Chemistry**, 113, p. 11496–11504, 2009.

VAN DEN BEEMT, Antoine; AKKERMAN, Sanne; SIMONS, Robert-Jan. Considering Young people's motives for interactive media use. **Educational Research Review**, v.6, issue 1, p. 55-66, 2011.

VASILYEV, Vladislav. Towards interactive 3D graphics in chemistry publications. **Theoretical Chemistry Accounts**, v. 125, p. 173–176, 2010.

VAN DEN BEEMT, Antoine; AKKERMAN, Sanne; SIMONS, Robert-Jan. Considering Young people's motives for interactive media use. **Educational Research Review**, v.6, issue 1, p. 55-66, 2011.

WOJCIECH Cellary, & KRZYSZTOF Walczak. **Interactive 3D Multimedia Content – Models for Creation, Management, Serach and Presentation**. London: Springer, 2012. P. 296.